23. Jänner 2012

Abkühlung einer Stahlbramme

Eine Stahlbramme ($l = 10\,\mathrm{m}$, $d = 0{,}2\,\mathrm{m}$, $b = 1\,\mathrm{m}$) verläßt mit einer Oberflächentemperatur von $\vartheta_\mathrm{B} = 200\,^\circ\mathrm{C}$ das Stahlwerk und wird im Freien gelagert. Die Lufttemperatur beträgt $\vartheta_\mathrm{L} = 20\,^\circ\mathrm{C}$. Schätzen Sie den Wärmeübergang an der Oberseite der Bramme aufgrund von

a) Strahlung (betrachten Sie die Bramme als schwarzen Körper),

b) erzwungener Konvektion ab. (Es bläst ein Wind mit der Geschwindigkeit $u = 10\,\mathrm{m/s}$ in Querrichtung über die Bramme.)

In welcher Zeit kühlt die Bramme um $10\,^\circ\mathrm{C}$ ab?

$$\text{erzwungene Konvektion, Pr} \approx 1\text{: } \mathrm{Nu}_x = 0{,}332\,\mathrm{Re}_x^{1/2}; \qquad \sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{W/m^2K^4},$$

$$\nu_\mathrm{Luft} = 2{,}4 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{m^2/s}, \quad \lambda_\mathrm{Luft} = 0{,}027\,\mathrm{W/mK}, \quad c_{p,\mathrm{Stahl}} = 700\,\mathrm{J/kgK}, \quad \rho_\mathrm{Stahl} = 7200\,\mathrm{kg/m^3}.$$

`bram.tex`

Eine Stahlbramme ($l = 10$ m, $d = 0{,}2\,m$, $b = 1\,m$) verläßt mit einer Oberflächentemperatur ($\vartheta = 1000°$ C) das Stahlwerk und wird im Freien gelagert. Man schätze den Wärmeübergang an der Oberseite der Bramme ab.
Bestimmen Sie den Wärmeübergang aufgrund von

- Strahlung, (Die Bramme kann als schwarzer Körper angenommen werden)
- erzwungener Konvektion. (Es bläst ein Wind mit $u = 10$ m/s und $\vartheta_l = -10°$ C in Querrichtung über die Bramme.)

Wie lange dauert es, bis die Bramme um $50\,^\circ\mathrm{C}$ abgekühlt ist?

$$Nu_x = 0{,}332\,Re_x^{1/2}, \quad \text{erzwungene Konvektion}$$

$$\nu_{Luft} = 1{,}5 \times 10^{-5}\,m^2/s, \quad \lambda_{Luft} = 0{,}027\,W/mK,$$

$$\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\,W/m^2K^4$$

$$c_{p,Stahl} = 700\,J/kgK, \quad \rho_{Stahl} = 7200\,kg/m^3.$$

Lösung

a)
Die Umgebung ist als schwarzer Körper mit der Temperatur T_L zu betrachten. Zufolge Strahlungsaustausches verliert die Oberfläche der Bramme deshalb den Wärmestrom

$$\dot{Q}_\mathrm{S} = lb\sigma(T_\mathrm{B}^4 - T_\mathrm{L}^4) = 24{,}34\ \mathrm{kW}.$$

b)
Die Reynoldszahl am Ende der Platte, in Querrichtung betrachtet, ist $\mathrm{Re} = ub/\nu = 10 \cdot 1/2{,}4 \cdot 10^{-5} = 4{,}2 \cdot 10^5$. Es kann (noch) mit laminarer Strömung gerechnet werden; Für die erzwungene Grenzschicht beträgt die Platten-Nußeltzahl $\mathrm{Nu_P} = 2\mathrm{Nu}_b$, der aufgrund erzwungener Konvektion abgegebene Wärmestrom beträgt

$$\dot{Q}_\mathrm{K} = 2\mathrm{Nu}_b\lambda(T_\mathrm{B} - T_\mathrm{L})l = 2 \cdot 0{,}332 \cdot \sqrt{4{,}2 \cdot 10^5} \cdot 180 \cdot 10 \cdot 0{,}027 = 20{,}8\ \mathrm{kW}.$$

c)
Anwendung des 1. HS der Thermodynamik ergibt

$$\rho lbdc_p\Delta T = (\dot{Q}_\mathrm{S} + \dot{Q}_\mathrm{K})\Delta t,$$

$$\Delta t = 2240\ \mathrm{s}.$$